

## REFLECTION-TYPE EXPOSURE MASK

Patent Number: JP2001237174  
Publication date: 2001-08-31  
Inventor(s): TAKAHASHI MASASHI; OGAWA TARO; HOKO HIROSANE  
Applicant(s): OKI ELECTRIC IND CO LTD;; HITACHI LTD;; FUJITSU LTD  
Requested Patent: JP2001237174  
Application Number: JP20000048654 20000225  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01L21/027; G03F1/08  
EC Classification:  
Equivalents:

---

### Abstract

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the contrast of an EUV exposure image without adversely affecting resolution.

**SOLUTION:** As to a reflection-type exposure mask used in an EUV lithography technique, a multilayered film 2 composed of two or more kinds of material layers which are cyclical laminated is formed on a base substrate 1, and a mask pattern 11 of nitride-containing metal film or of laminated structure of a metal nitride film and a metal film is formed on the multilayered film 2.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

M-1111

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-237174  
(P2001-237174A)

(43) 公開日 平成13年 8月31日 (2001.8.31)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	サーチコード (参考)
H 0 1 L 21/027		G 0 3 F 1/08	G 2 H 0 9 5
G 0 3 F 1/08		H 0 1 L 21/30	5 3 1 M 5 F 0 4 6
			5 1 7

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2000-48654 (P2000-48654)	(71) 出願人	000000295 沖電気工業株式会社 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号
(22) 出願日	平成12年 2月25日 (2000.2.25)	(71) 出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (平成10年度新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子デバイス基盤技術開発事業 (縮小X線露光プロセス技術とアクティブ反射構造形成技術) 委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)		(71) 出願人	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
		(74) 代理人	100083840 弁理士 前田 実

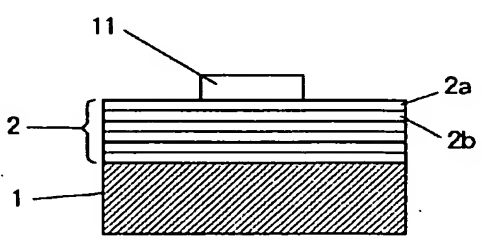
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反射型露光マスク

(57) 【要約】

【課題】 解像度に悪影響を及ぼすことなく、EUV露光像のコントラストを向上させる。

【解決手段】 EUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスクにおいて、下地基板1上に2種類以上の材料層を周期的に積層させた多層膜2を形成し、多層膜2上に、窒化を含む金属膜からなるマスクパターン11、または窒化金属膜と金属膜の積層構造からなるマスクパターンを形成する。



第1の実施の形態の反射型露光マスク

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 EUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスクにおいて、  
基板上に積層形成された多層膜上に、窒素を含む金属膜からなるマスクパターンを有することを特徴とする反射型露光マスク。

【請求項2】 前記窒素を含む金属膜は、窒化タンタル膜あるいは窒化タンタル合金膜であることを特徴とする請求項1に記載の反射型露光マスク。

【請求項3】 EUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスクにおいて、  
基板上に積層形成された多層膜上に、窒素金属膜と金属膜の積層構造からなるマスクパターンを有することを特徴とする反射型露光マスク。

【請求項4】 前記窒素金属膜と金属膜の積層構造からなるマスクパターンは、前記金属膜上に前記窒素金属膜を積層した構造であることを特徴とする請求項3に記載の反射型露光マスク。

【請求項5】 前記金属膜は、タンタル膜あるいはタンタル合金膜であることを特徴とする請求項3または4に記載の反射型露光マスク。

【請求項6】 前記窒化金属膜は、窒化タンタル膜あるいは窒化タンタル合金膜であることを特徴とする請求項3ないし5のいずれか一つに記載の反射型露光マスク。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長が10～15[nm]付近のEUV(Extreme UltraViolet rays:極端紫外線)を光源としたEUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスク、および上記反射型露光マスクを用いたEUVリソグラフィによって製造される半導体素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体素子の高集積化につれて、100[nm]以下の極微細加工を可能にする新たなプロセス技術の確立が急務になっている。リソグラフィ技術でも光源の短波長化によって光学的な解像力の向上を図るため、従来の水銀ランプやエキシマレーザによる紫外線と比べて、波長が10～15[nm]程度と1桁以上も短いEUVを光源に用いて高解像化を可能とするEUVリソグラフィの開発が精力的に行われている。

【0003】EUV光は物質による吸収が非常に著しく、EUV光に対する物質の屈折率もほとんど真空の値に等しい。従って、EUVリソグラフィの露光装置の光学系には、「精密光学会誌第64巻第2号282頁～286頁(1998年)」に記載されたように、凸面鏡と凹面鏡を組み合わせた反射光学系が用いられる。また、露光マスクについても、ガラスレチクルのような透過型では吸収によるEUV光の強度低下が著しいことから、反射型露光マスクが用いられる。

【0004】図10は従来のEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。図10の従来の反射型露光マスクは、下地基板1上に多層膜2を形成し、この多層膜2上に金属膜からなるマスクパターン3を形成したものである。EUVリソグラフィにおいて、マスクパターン3は、EUV光の吸収領域(吸収体)として機能し、非パターン領域(マスクパターン3が形成されていない領域であり、多層膜2の露出領域)6は、EUV光の反射領域(反射体)として機能し、半導体ウエハに塗布されたEUVリソグラフィ用フォトリソレジスト(EUV領域に感光感度をもつレジスト)上に形成するEUV露光像に、露光コントラストを生じさせる。

【0005】反射体として機能する多層膜2は、反射型露光マスクの表面にほとんど直角に入射したEUV光に対して高い反射率を得るために、EUV光の波長に対する屈折率が互いに大きく異なった2種類以上の材料層を周期的に積層させた構造である。この多層膜2には、最上層(表層)がシリコン(Si)層2aとなるようにEUV光に対する屈折率が互いに異なるSi層2aとモリブデン(Mo)層2bとを周期的に積層させた構造が広く用いられている。

【0006】また、吸収体として機能するマスクパターン3は、パターン加工された金属膜からなる。この金属膜としては、EUV光の吸収が高く、パターン加工も容易であるタンタル(Ta)膜が用いられている(有力な候補として挙げられている)。なお、上記の金属膜として、Taを含む合金膜(タンタル合金膜)を用いることもできる(タンタル合金膜についても研究が進められている)。上記のタンタル合金としては、例えば、Taとゲルマニウム(Ge)の合金膜(以下、Ta/Ge合金膜と称する)、TaとSiの合金膜(以下、Ta/Si合金膜と称する)、Taとボロン(B)の合金膜(以下、Ta/B合金膜と称する)、などがある。

【0007】図11は従来のEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。まず、図11(a)のように、下地基板1上にスパッタリング法などによって多層膜2を形成し、この多層膜2上にスパッタリング法またはCVD法によってマスクパターン用金属膜としてTa膜4を形成する。次に、図11(b)のように、Ta膜4上にレジストを塗布し、電子線やレーザ光の走査による露光および現像によって所望のレジストパターン5を形成する。次に、図11(c)のように、プラズマドライエッチング法などによって、レジストパターン5をエッチングマスクとしてTa膜4をパターンニングし、そのあとレジストパターン5を除去して、Ta膜4からなるマスクパターン3を形成する。なお、多層膜2とTa膜4の間に、バッファ層として酸化シリコン膜などが挿入されている場合もある。この場合には、非パターン領域6内のバッファ層は、上記図11(c)でのTa膜4のパターンニングの際に除去される。

【0008】上記のように製造された反射型露光マスクは、マスク検査工程において、マスクパターン3が所望の寸法に形成されているか否か、マスクパターン3と非パターン領域6の表面反射率差が所望の値以上になっているか否か、などが検査される。この反射型露光マスクの検査では、EUV領域の光ではなく、波長150～350 [nm] 程度のDUV (Deep UltraViolet rays : 遠紫外線) 領域の光を反射型露光マスクの表面に照射する(検査装置が、DUV領域の光を照射することにより、反射型露光マスクの検査をする構成になっている)。

【0009】図12はEUVリソグラフィ用反射型露光\*  

$$MC [\%] = \{ (R_{Si} - R_{Ta}) / (R_{Si} + R_{Ta}) \} \times 100 \dots (1)$$
 で定義される。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら上記従来の反射型露光マスクでは、マスクパターンの表面反射率が十分に低くならないために、マスクコントラスト値についての要求を十分に満足させることができず、EUVリソグラフィにおいて要求されたコントラストを十分に満足するEUV露光像が得られないという課題がある。このため、マスクパターンの表面反射率をさらに低くすることにより、マスクコントラストおよびEUV露光像のコントラストをさらに向上させることが望まれている。

【0012】一般に、マスクパターンの吸収体膜(金属膜)の表面粗さが大きいと、DUV光 $I_{int}$ がマスクパターン表面で乱反射するため、反射光 $R_{Ta}$ の光量は低下する。従って、上記吸収体膜の表面粗さを大きくすれば、マスクコントラストおよびEUV露光像のコントラストを高くすることが可能である。しかし、上記吸収体膜の表面粗さを大きくすると、膜厚ムラも大きくなり、膜厚の薄い場所ではEUV光の吸収能が小さくなるため、EUVリソグラフィでの解像度に悪影響を及ぼす。従って、上記吸収体膜の表面は可能な限り滑らかに保持し、かつ表面反射率を低下させる必要がある。

【0013】本発明は、このような従来の課題を解決するためになされたものであり、解像度に悪影響を及ぼすことなく、DUV光によるマスク検査時のコントラストを向上させることができる反射型露光マスクを提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために本発明の請求項1に記載の反射型露光マスクは、EUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスクにおいて、基板上に積層形成された多層膜上に、窒素を含む金属膜からなるマスクパターンを有することを特徴とする。

【0015】また、本発明の請求項2に記載の反射型露光マスクは、前記窒素を含む金属膜が、窒化タンタル膜

\*マスクの検査工程を説明する図である。図12において、DUV領域の入射光のビームスポットを $I_{int}$ とし、この入射光 $I_{int}$ に対し、マスクパターン3の表面で反射してきた光を $R_{Ta}$ 、非パターン領域6の多層膜2の表面(ここでは、多層膜2の最上層をアモルファスSi層とする)で反射してきた光を $R_{Si}$ とする。

【0010】上記の検査工程では、図12のように、DUV領域の光 $I_{int}$ を反射型露光マスクの表面に照射し、マスクパターン3からの反射光 $R_{Ta}$ と、非パターン領域6からの反射光 $R_{Si}$ との光量差(以下、マスクコントラストと称する)を観察し、マスクコントラスト値MCを測定する。このマスクコントラスト値MCは、

あるいは窒化タンタル合金膜であることを特徴とする。

【0016】また、本発明の請求項3に記載の反射型露光マスクは、EUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスクにおいて、基板上に積層形成された多層膜上に、窒素金属膜と金属膜の積層構造からなるマスクパターンを有することを特徴とする。

【0017】また、本発明の請求項4に記載の反射型露光マスクは、前記窒素金属膜と金属膜の積層構造からなるマスクパターンが、前記金属膜上に前記窒素金属膜を積層した構造であることを特徴とする。

【0018】また、本発明の請求項5に記載の反射型露光マスクは、前記金属膜が、タンタル膜あるいはタンタル合金膜であることを特徴とする。

【0019】また、本発明の請求項6に記載の反射型露光マスクは、前記窒化金属膜が、窒化タンタル膜あるいは窒化タンタル合金膜であることを特徴とする。

【0020】

【発明の実施の形態】第1の実施の形態

図1は本発明の第1の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。

【0021】図1のように、第1の実施の形態の反射型露光マスクは、下地基板1上に多層膜2を形成し、この多層膜2上に窒化タンタル(TaN)膜からなるマスクパターン11を形成したものである。この第1の実施の形態の反射型露光マスクは、吸収体として機能するマスクパターンがTaN膜からなることを特徴としている。

【0022】EUVリソグラフィにおいて、TaN膜からなるマスクパターン11は、EUV光の吸収領域(吸収体)として機能し、非パターン領域(マスクパターン11が形成されていない領域であり、多層膜2の露出領域)6は、EUV光の反射領域(反射体)として機能し、半導体ウエハに塗布されたEUVリソグラフィ用フォトリソグ( EUV領域に感光感度をもつフォトリソグ)上に形成するEUV露光像に、露光コントラストを生じさせる。

【0023】反射体として機能する多層膜2は、EUV光の波長に対する屈折率が互いに大きく異なった2種類

10

20

30

40

50

以上の材料層を周期的に積層させた構造である。ここでは、多層膜2は、最上層(表層)がシリコン(Si)層2aとなるようにEUV光に対する屈折率が互いに異なるSi層2aとモリブデン(Mo)層2bとを周期的に積層させた構造である。

【0024】図2は本発明の第1の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。

【0025】まず、図2(a)のように、下地基板1上にスパッタリング法などによって、Si層2aが最上層となるようにSi層2aとMo層2bとを周期的に積層させた多層膜2を形成する。さらに詳細には、Mo層2b上にSi層2aを積層させた構造を基本周期構造とし、上記の基本周期構造を30ないし40周期積層させる。また、上記基本周期構造の厚さは、EUV光の波長の約半分とする。このようなMo/Si構造の多層膜2では、波長が13.5[nm]付近のEUV光に対して最大約70[%]の反射率が得られる。

【0026】なお、多層膜2の表面反射率は、最上層となる材料層(Si層2a)によってほとんど決まる。最上層以外の材料層は、多層膜の吸収能には影響を及ぼすが、多層膜の表面反射率にはほとんど影響を及ぼさない。このため、多層膜2においては、Mo層2bは、Si層2aと屈折率が異なる材料層であればよく、例えばベリリウム(Be)層でもよい。

【0027】次に、図2(b)のように、多層膜2上にマスクパターン用金属膜としてTa<sub>2</sub>N膜21を形成する。Ta<sub>2</sub>N膜21は、Ta<sub>2</sub>Nターゲットを用いたスパッタリング法、Taターゲットを用いてスパッタリングする際に窒素ガスを混合した反応性スパッタリング法、CVD法などによって形成される。または、Ta<sub>2</sub>N膜21は、スパッタリング法やCVD法によって形成したTa膜に、窒素やアンモニア等のガス雰囲気での熱処理やプラズマ処理による窒化処理を施すことによって形成される。

【0028】次に、図2(c)のように、Ta<sub>2</sub>N膜21上にレジストを塗布し、電子線やレーザー光の走査による露光および現像によって所望のレジストパターン5を形成する。

【0029】次に、図2(d)のように、プラズマドライエッチング法などによって、レジストパターン5をエッチングマスクとしてTa<sub>2</sub>N膜21をパターンニングし、そのあとレジストパターン5を除去して、Ta<sub>2</sub>N膜21からなるマスクパターン11を形成する。

【0030】なお、多層膜2とTa<sub>2</sub>N膜21の間に、バッファ層として酸化シリコン(SiO<sub>2</sub>)膜などが挿入されている場合もある。この場合には、非パターン領域6内のバッファ層は、上記図2(d)でのTa<sub>2</sub>N膜21のパターンニングの際に除去される。

【0031】このようにして形成されたTa<sub>2</sub>N膜21が

らなるマスクパターン11は、従来のTa膜からなるマスクパターンよりもDUV光に対する表面反射率を低くすることができる。ここで、上記のDUV光は、反射型露光マスクの検査時に、マスクパターン寸法や形状の測定などのために反射型露光マスクの表面に照射されるUV光である。従って、Ta<sub>2</sub>N膜21からなるマスクパターン11を設けた第1の実施の形態の反射型露光マスクでは、Ta膜からなるマスクパターンを設けた従来の反射型露光マスクよりも、検査時のDUV光によるマスクコントラスト値MCを高くすることができる。

【0032】図3はDUV光に対するTa膜およびTa<sub>2</sub>N膜の表面反射率の測定値を示す図である。この図3には、最上層がSi層であるMo/Si構造の多層膜の表面反射率の測定値も同時に示してある。図3において、横軸はDUV光の波長、縦軸は表面反射率である。この表面反射率は、DUV光に対するSiウエハの表面反射率を100[%]として規格化したものである。また、図3において、rmsは、表面粗さの実効値(表面の凹凸分布の実効値)である。図3には、表面粗さrms=0.234[nm]および1.001[nm]のTa膜、表面粗さrms=0.482[nm]のTa<sub>2</sub>N膜、表面粗さrms=0.180[nm]のMo/Si構造多層膜の表面反射率の測定値をそれぞれ示してある。

【0033】図3のように、表面粗さrms=0.482[nm]のTa<sub>2</sub>N膜の表面反射率は、表面粗さrms=1.001[nm]のTa膜の表面反射率よりも低くなっていることが確認された。なお、最上層がSi層であるBe/Si構造の多層膜の表面反射率の測定値についても、図3のMo/Si構造の多層膜と同じような結果が得られた。このように、Ta<sub>2</sub>N膜は、このTa<sub>2</sub>N膜よりも表面粗さの大きなTa膜よりも表面反射率が低くなる。従って、Ta<sub>2</sub>N膜21からなるマスクパターン11を設けた第1の実施の形態の反射型露光マスクでは、Ta膜からなるマスクパターンを設けた従来の反射型露光マスクよりも、DUV光による検査時のマスクコントラストを大きくすることができる。また、マスクパターンの表面粗さを大きくすることなく、マスクパターンの表面反射率を低減させることができるため、マスクパターンの膜厚ムラの増大によってEUVリソグラフィにおける解像度に悪影響を及ぼすことはない。

【0034】以上のように第1の実施の形態の反射型露光マスクによれば、Ta<sub>2</sub>N膜からなるマスクパターン11を形成したことにより、マスクパターンの表面反射率を従来よりも低減することができる。また、マスクパターンの表面粗さを大きくすることなく、マスクパターンの表面反射率を低減させることができるため、EUVリソグラフィにおける解像度に悪影響を及ぼすことはない。

【0035】なお、上記第1の実施の形態では、マスクパターン用金属膜(吸収体膜)として、Ta<sub>2</sub>N膜を用い

たが、タンタル合金の窒化膜（窒化タンタル合金膜）を用いることも可能である。窒化タンタル合金膜としては、例えば、Ta/Ge合金の窒化膜、Ta/Si合金の窒化膜、Ta/B合金の窒化膜、などがある。

#### 【0036】第2の実施の形態

図4は本発明の第2の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。なお、図4において、図1と同じものには同じ符号を付してある。

【0037】図4のように、第2の実施の形態の反射型露光マスクは、下地基板1上に多層膜2を形成し、この多層膜2上に、Ta層22aとTa<sub>2</sub>N層22bとを積層した金属膜22からなるマスクパターン12を形成したものである。この第2の実施の形態では、金属膜22は、多層膜2上に形成したTa膜に窒化処理を施すことにより形成されたものであり、表層にTa<sub>2</sub>N層22bを有し、このTa<sub>2</sub>N層22bの下層にTa層22aを有する構造である。

【0038】Ta膜に窒化処理を施すことにより形成された金属膜22においては、窒化により形成されたTa<sub>2</sub>N層22bと窒化されずに残ったTa層22aとの境界は明確ではないが、表面を含む上層に、Ta層よりもEUV光に対する反射率が低いTa<sub>2</sub>N層が存在し、底面を含む下層に、Ta<sub>2</sub>N層よりもEUV光に対する吸収能が大きいTa層が存在していることが重要である。

【0039】図5は本発明の第2の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。なお、図5において、図2と同じものには同じ符号を付してある。

【0040】まず、図5（a）のように、上記第1の実施の形態と同じようにして、下地基板1上にスパッタリング法などによって多層膜2を形成する。

【0041】次に、図5（b）のように、多層膜2上にスパッタリング法またはCVD法によってマスクパターン用金属膜としてTa膜22cを形成する。

【0042】次に、図5（c）のように、Ta膜22cに窒化処理を施すことによってTa膜22cの表層にTa<sub>2</sub>N層22bを形成する。上記の窒化処理は、窒素やアンモニアなどのガス雰囲気中での熱処理やプラズマ処理などによる。

【0043】上記図5（b）および図5（c）の工程により、表層にTa<sub>2</sub>N層22bを有し、このTa<sub>2</sub>N層22bの下層にTa層22aを有するマスクパターン用金属膜22が形成される。

【0044】なお、これ以降のマスクパターン用金属膜22をパターンニングし、金属膜22からなるマスクパターン12を形成する工程は、図2（c）および図2（d）と同じである。

【0045】このようにして形成された、表層にTa<sub>2</sub>N層22bを有し、このTa<sub>2</sub>N層22bの下層にTa層22

2aを有するマスクパターン12は、Ta<sub>2</sub>N膜のみからなる上記第1の実施の形態のマスクパターン11よりもEUV光に対する吸収能が増大する（これは、Ta層のEUV光に対する吸収能が、Ta<sub>2</sub>N層のEUV光に対する吸収能よりも大きいことによる）。このため、上記構造のマスクパターン12を設けた第2の実施の形態の反射型露光マスクでは、上記第1の実施の形態の反射型露光マスクよりも、さらにマスクコントラストを高くすることができる。

【0046】図6はTa膜およびTa<sub>2</sub>N膜の膜密度の測定値を示す図である。図6から判るように、Ta<sub>2</sub>N膜の膜密度は、Ta膜の膜密度の2/3程度である。吸収体膜（マスクパターン用金属膜）のEUV光に対する吸収能は、同じ膜厚であれば、膜密度が低い材料ほど低くなる。従って、同じ膜厚であれば、Ta<sub>2</sub>N膜のEUV光に対する吸収能は、Ta膜のEUV光に対する吸収能よりも低くなる。この第2の実施の形態の金属膜22の構造（図4参照）では、下層にTa層22aを配することによりEUV光に対する吸収能を高めることが可能となり、かつ表面にTa<sub>2</sub>N層22bを配することによりEUV光に対する表面反射率を低下させることが可能となる。

【0047】以上のように第2の実施の形態の反射型露光マスクによれば、Ta膜に窒化処理を施すことにより形成されたTa<sub>2</sub>N層22bとTa<sub>2</sub>N層22bの積層構造を有する金属膜22によってマスクパターン12を形成したことにより、マスクパターンの表面反射率を上記第1の実施の形態よりもさらに低減することができる。また、マスクパターンの表面粗さを大きくすることなく、マスクパターンの表面反射率を低減させることができるため、EUVリソグラフィにおける解像度に悪影響を及ぼすことはない。

【0048】なお、上記第2の実施の形態では、Ta膜を窒化処理により形成された、表層にTa<sub>2</sub>N層を有し、このTa<sub>2</sub>N層の下層にTa層を有する構造の金属膜（吸収体膜）を用いたが、Ta合金膜の窒化処理により形成された、表層にTa<sub>2</sub>N合金層を有し、このTa<sub>2</sub>N合金層の下層にTa合金層を有する構造の金属膜を用いることも可能である。

#### 【0049】第3の実施の形態

図7は本発明の第3の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。なお、図7において、図4と同じものには同じ符号を付してある。

【0050】図7のように、第3の実施の形態の反射型露光マスクは、下地基板1上に多層膜2を形成し、この多層膜2上に、Ta膜23aとTa<sub>2</sub>N膜23bを積層させた金属膜23からなるマスクパターン13を形成したものである。この第3の実施の形態では、金属膜23は、多層膜2上にTa膜23aを形成し、このTa膜2

3 a上にTa<sub>2</sub>N膜23 bを積層することにより形成されたものであり、表層にTa<sub>2</sub>N膜23 bを有し、このTa<sub>2</sub>N膜23 bの下層にTa膜23 aを有する構造である。

【0051】 Ta膜23 a上にTa<sub>2</sub>N膜23 bを積層することにより形成される金属膜23においては、Ta膜23 aの膜厚およびTa<sub>2</sub>N膜23 bの膜厚を制御することが容易であるとともに、Ta膜23 aおよびTa<sub>2</sub>N膜23 bの膜厚を均一にすることができる。

【0052】 図8は本発明の第3の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。なお、図8において、図2と同じものには同じ符号を付してある。

【0053】 まず、図8 (a) のように、上記第1の実施の形態と同じようにして、下地基板1上にスパッタリング法などによって多層膜2を成膜させる。

【0054】 次に、図8 (b) のように、多層膜2上にスパッタリング法またはCVD法によって、マスクパターン用金属膜を構成するTa膜23 aを形成する。

【0055】 次に、図8 (c) のように、Ta膜23 a上にマスクパターン用金属膜を構成するTa<sub>2</sub>N膜23 bを積層形成する。Ta<sub>2</sub>N膜23 bは、Ta<sub>2</sub>Nターゲットを用いたスパッタリング法、Taターゲットを用いてスパッタリングする際に窒素ガスを混合した反応性スパッタリング法、CVD法などによって形成される。

【0056】 上記図8 (b) および図8 (c) の工程により、Ta膜23 a上にTa<sub>2</sub>N膜23 bを積層した構造のマスクパターン用金属膜23 (表層にTa<sub>2</sub>N層23 bを有し、このTa<sub>2</sub>N層23 bの下層にTa層23 aを有するマスクパターン用金属膜23) が形成される。

【0057】 なお、これ以降のマスクパターン用金属膜23をパターニングし、マスクパターン13を形成する工程は、図2 (c) および図2 (d) と同じである。

【0058】 このようにして形成された、表層にTa<sub>2</sub>N膜23 bを有し、このTa<sub>2</sub>N膜23 bの下層にTa膜23 aを有するマスクパターン13は、Ta<sub>2</sub>N膜のみからなる上記第1の実施の形態のマスクパターン11よりもEUV光に対する吸収能が増大する。このため、上記構造のマスクパターン13を設けた第3の実施の形態の反射型露光マスクでは、上記第1の実施の形態の反射型露光マスクよりも、さらにマスクコントラストを高くすることができる。

【0059】 さらに、Ta膜上にTa<sub>2</sub>N膜を積層することでTa/Ta<sub>2</sub>N積層構造のマスクパターン用金属膜23を形成する第3の実施の形態では、Ta膜を窒化処理することでTa膜の表層にTa<sub>2</sub>N層を設けたマスクパターン用金属膜22を形成する上記第2の実施の形態よりも、Ta膜23 aおよびTa<sub>2</sub>N膜23 bの膜厚を、高い均一性で任意の値に容易に制御することが可能である。これにより、所望のEUV光吸収能を有するマスクパターンを容易に形成することが可能となる。

【0060】 以上のように第3の実施の形態の反射型露光マスクによれば、Ta膜23 a上にTa<sub>2</sub>N膜23 bを積層することにより形成されたTa<sub>2</sub>N膜23 bとTa膜23 aの積層構造を有する金属膜23によってマスクパターン13を形成したことにより、マスクパターンの表面反射率を上記第1の実施の形態よりもさらに低減することができる。また、マスクパターンの表面粗さを大きくすることなく、マスクパターンの表面反射率を低減させることができるため、EUVリソグラフィにおける解像度に悪影響を及ぼすことはない。

【0061】 さらに、マスクパターン用金属膜23をTa/Ta<sub>2</sub>N積層構造としたことにより、Ta膜23 aおよびTa<sub>2</sub>N膜23 bの膜厚を、高い均一性で任意の値に容易に制御することが可能となるため、所望のEUV光吸収能を有するマスクパターンを容易に形成することができる。

【0062】 なお、上記第3の実施の形態では、Ta膜上にTa<sub>2</sub>N膜を積層した構造の金属膜 (吸収体膜) を用いたが、タンタル合金膜上にTa<sub>2</sub>N膜を積層した構造の金属膜、またはTa膜上に窒化タンタル合金膜を積層した構造の金属膜、またはタンタル合金膜上に窒化タンタル合金膜を積層した構造の金属膜を用いることも可能である。

#### 【0063】 第4の実施の形態

以下に説明する第4の実施の形態の半導体素子は、製造工程のウエハ工程に、上記第1ないし第3の実施の形態のいずれかの反射型露光マスクを用いたEUVリソグラフィ工程を含むことを特徴とする。従って、第4の実施の形態の半導体素子は、ウエハ工程における他の工程 (CVD工程、スパッタリング工程、熱拡散工程、イオンインプランテーション工程など、さらには、水銀ランプ光やエキシマレーザ光によるリソグラフィ工程)、および組立工程については、公知技術を用いて製造される。

【0064】 図9は本発明の第4の実施の形態によるEUVリソグラフィ工程を説明する図である。図9のEUV露光装置は、「応用物理第68巻第5号520頁-526頁 (1999)」 (応用物理学会) に開示されたものである。この図9のEUV露光装置は、反射型マスクから反射されたEUV光像を、EUVリソグラフィ用フォトリソ (EUV領域に感光感度を有するポジタイプまたはネガタイプのフォトリソ) が塗布された半導体ウエハ上に縮小投影し、上記フォトリソをEUV露光するものであり、防振台51と、チャンバ52と、基板53と、EUV光源54と、反射鏡55 a, 55 bにより構成される光源光学系と、反射鏡56 a, 56 b, 56 c, 56 dにより構成される縮小投影光学系と、マスク走査ステージ57と、ウエハ走査ステージ58とを備えている。

【0065】 防振台51はチャンバ52の底面に設けら



れており、基板 53 は、防振台 51 に載せられてチャンバ 52 内に設けられている。基板 53 上には、マスク走査ステージ 57 およびウエハ走査ステージ 58 が設けられている。また、チャンバ 52 内において、光源光学系を構成する反射鏡 55a, 55b は、チャンバ 52 の側面に設けられた光源入射口 52a と、マスク走査ステージ 57 の間にそれぞれ配置されており、縮小投影光学系を構成する反射鏡 56a, 56b, 56c, 56d は、マスク走査ステージ 57 とウエハ走査ステージ 58 の間にそれぞれ配置されている。また、EUV 光源 54 は、光源入射口 52a を設けたチャンバ 52 の側面位置かに設けられており、光源入射口 52a からチャンバ 52 内に EUV 光を入射させる。

【0066】EUV リソグラフィ工程（EUV 露光工程）においては、上記第 1 ないし第 3 の実施の形態のいずれかによる反射型露光マスク 41 が、パターン面（マスクパターンおよび非パターン領域が形成されている側の面）をウエハ走査ステージ 58 に対向させるようにして、マスク走査ステージ 57 に垂直にセットされる。また、EUV リソグラフィ用フォトレジストが塗布された半導体ウエハ 42 が、レジスト塗布面をマスク走査ステージ 57 に対向させるようにして、ウエハ走査ステージ 58 に垂直にセットされる。

【0067】EUV 光源 54 からチャンバ 52 内に入射した EUV 光は、光源光学系の反射鏡 55a, 55b でそれぞれ反射され、反射型マスク 41 のパターン面にほぼ垂直に入射する。反射型マスク 41 においては、マスクパターンに入射した EUV 光はマスクパターンで吸収され、非パターン領域に入射した EUV 光は反射される。これにより、反射型マスク 41 は、EUV 光が入射するパターン領域に応じた EUV 光像を反射する。反射型マスク 41 で反射された EUV 光像は、縮小投影光学系の反射鏡 56a, 56b, 56c, 56d で順次反射されるとともに、縮小投影光学系により画角が縮小され（例えば 10:1 あるいは 4:1）、半導体ウエハ 42 に塗布されたフォトレジスト表面に達する。これにより、半導体ウエハ 42 のフォトレジストは、反射型マスク 41 の上記パターン領域を縮小投影した EUV 光像により露光される。反射型露光マスク 41 の位置（EUV 光源 54 からの EUV 光が入射するパターン領域）は、マスク走査ステージ 57 により走査され、これに応じて、半導体ウエハ 42 の位置は、ウエハステージ 58 により走査される。このようにして、反射型マスク 41 に形成されているパターンによる EUV 光像により、上記フォトレジストが露光される。

【0068】EUV 露光が終了した半導体ウエハ 42 は現像され、これにより、半導体ウエハ 42 上に EUV リソグラフィによるレジストパターンが形成される。このあと、レジストパターンが形成された半導体ウエハ 42 に対し、上記レジストパターンをエッチングマスクとし

てレジストパターンの下に形成された絶縁膜または金属膜をドライエッチングするエッチング工程、あるいは上記レジストパターンをイオンインプラマスクとするイオンインプランテーション工程などが実施される。さらに、一連のウエハ工程を終了した半導体ウエハ 42 に対し、ダイシング工程をはじめとする組立工程が実施され、第 4 の実施の形態の半導体素子ができあがる。

【0069】上記の EUV 露光工程に用いた上記第 1 ないし第 3 の実施の形態のいずれかの反射型露光マスクは、半導体ウエハ 42 上に従来よりも微細なレジストパターン（例えば幅が 100 [nm] 程度の極微細パターン）を高精度に形成することができる。これにより、半導体ウエハ 42 に従来よりも微細な加工（例えば 100 [nm] 程度の極微細加工）を施すことが可能となるため、半導体素子の回路集積度を高くすることができる。

【0070】

【発明の効果】以上説明したように本発明の反射型露光マスクによれば、窒化タンタル膜からなるマスクパターン、または窒化タンタル合金膜からなるマスクパターン、または最上層に窒化タンタル層を有する金属膜からなるマスクパターン、または最上層に窒化タンタル合金層を有する金属膜からなるマスクパターンを形成したことにより、マスクパターンの表面反射率を従来よりも低減することができ、これにより EUV リソグラフィにおいて高精度で微細なパターンを作業できるという効果がある。また、マスクパターンの表面粗さを大きくすることなく、マスクパターンの表面反射率を低減させることができるため、EUV リソグラフィにおける解像度に悪影響を及ぼすことはない。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態による EUV リソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施の形態による EUV リソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。

【図 3】DUV 光に対する Ta 膜および TaN 膜の表面反射率の測定値を示す図である。

【図 4】本発明の第 2 の実施の形態による EUV リソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。

【図 5】本発明の第 2 の実施の形態による EUV リソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。

【図 6】Ta 膜および TaN 膜の膜密度の測定値を示す図である。

【図 7】本発明の第 3 の実施の形態による EUV リソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。

【図 8】本発明の第 3 の実施の形態による EUV リソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。

【図 9】本発明の第 4 の実施の形態による EUV リソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。



ラフィ工程を説明する図である。

【図10】従来のEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。

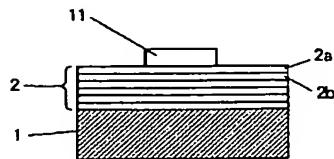
【図11】従来のEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。

【図12】EUVリソグラフィ用反射型露光マスクの検査工程を説明する図である。

【符号の説明】

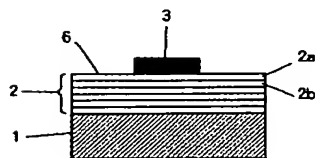
1 下地基板、 2 多層膜、 11, 12, 13 マスクパターン、 21, TaN膜、 22 マスクパターン用金属膜、 22a Ta層、 22b TaN層、 22c Ta膜、 23 マスクパターン用金属膜、 23a Ta膜、 23b TaN膜、 41 反射型露光マスク、 42 半導体ウエハ。

【図1】



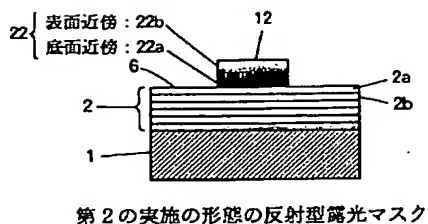
第1の実施形態の反射型露光マスク

【図10】



従来の反射型露光マスク

【図4】



第2の実施形態の反射型露光マスク

【図2】

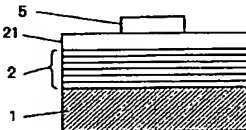
(a)



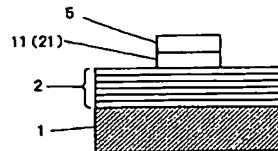
(b)



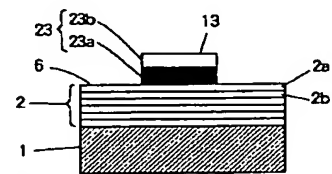
(c)



(d)

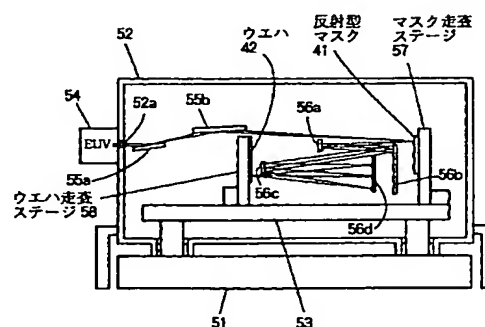


【図7】

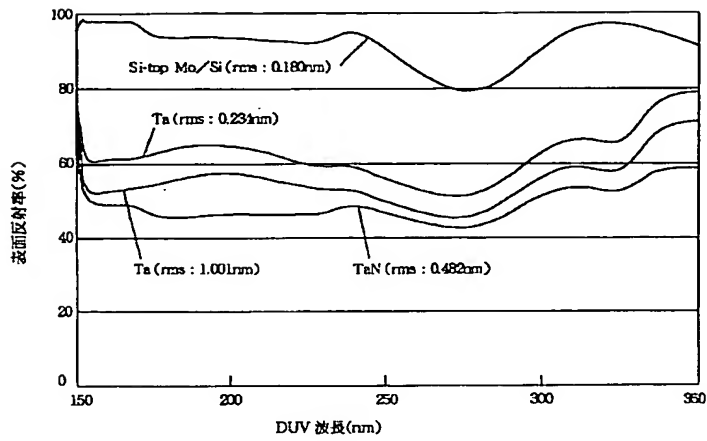


第3の実施形態の反射型露光マスク

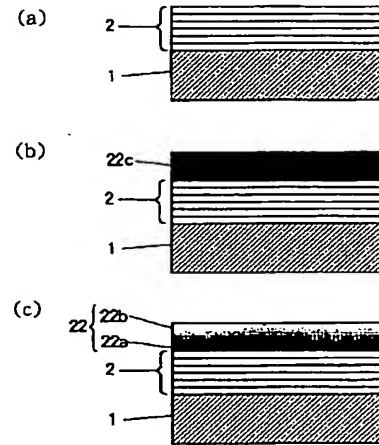
【図9】



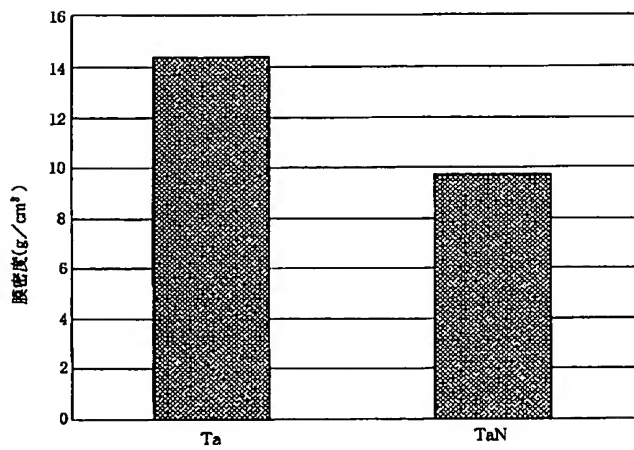
【図3】



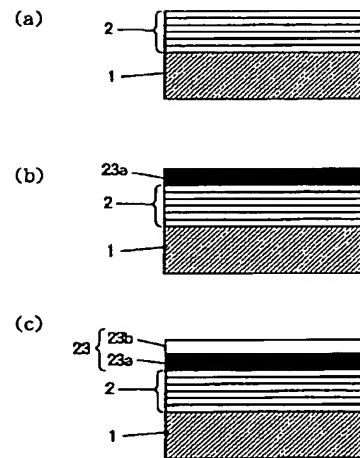
【図5】



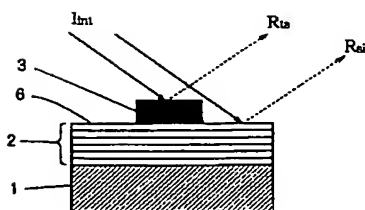
【図6】



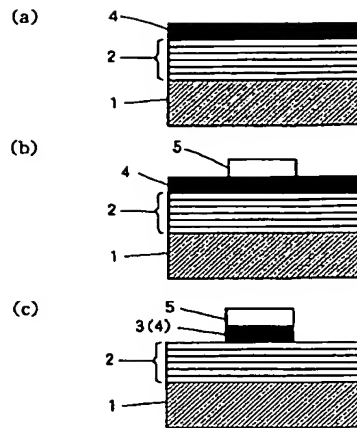
【図8】



【図12】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 高橋 政志  
東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
工業株式会社内  
(72)発明者 小川 太郎  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 銚 宏真  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内  
Fターム(参考) 2H095 BA07 BC05 BC11  
5F046 AA23 BA05 GA03 GB01 GC05  
GD01 GD10 GD16